

## 日本海沖合で漁獲されたスルメイカの体サイズの長期変化

四方 崇文\*

(2021年11月13日受付, 2022年4月6日受理, 2022年7月7日J-STAGE 早期公開)

石川県水産総合センター

Long-term changes in body size of Japanese flying squid *Todarodes pacificus* caught in the offshore area of the Sea of Japan

TAKAFUMI SHIKATA\*

Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, Noto, Ishikawa 927-0435, Japan

A squid jigging survey was conducted by the research vessel *Hakusan-maru* in the offshore area of the Sea of Japan from May to October from 1978 to 2019, and annual and seasonal changes in mantle length of Japanese flying squid *Todarodes pacificus* caught were investigated. The mean mantle length of the squid caught from August to October declined markedly from the 2000s to the 2010s. Seasonal changes in the mean mantle length were able to be divided into the growth period and then the stagnation period after reaching the adult mantle length. The growth rate of mantle length during the growth period decreased from the early 2000s to the late 2010s. The beginning of the stagnation period was delayed by at least two months from the late 1980s to the late 2010s. Therefore, the marked reduction of the mantle length since the 2000s was due to the decrease in growth rate and the delay in reaching the adult mantle length. These phenomena were considered to be related to the delay of spawning period of the squid with increasing water temperature at their spawning area.

キーワード：イカ釣り, 小型化, スルメイカ, 体サイズ

スルメイカ *Todarodes pacificus* は日本周辺海域に広く分布する重要水産資源であり, 資源を持続的・効率的に利用することを目的として, 資源構造, 資源変動, 生物特性, 漁場形成等に関する研究<sup>1-3)</sup>が精力的に行われてきた。本種は年魚であり, 資源が毎年全て更新される。このため, その資源量は再生産(産卵)海域の水溫環境の影響を受けやすく, 気候変動によってもたらされる中長期的な水溫環境の変化によって大きく増減することが明らかにされている。<sup>3-8)</sup>さらに, 資源量の増減にともなって体サイズ(外套長)が変化するという報告もある。<sup>9,10)</sup>

本種は漁獲可能量制度の対象種であり, 毎年の資源評価に基づいて漁獲可能量が設定されている。資源評価では, 資源量指標値と体重から資源量が求められているが, 体重の経年変化は基本的にないものとして資源量が計算されている。<sup>11,12)</sup>一方, 日本海沖合を主漁場とするイカ釣り漁業者から, 近年, 魚体が小型化しているという

声が聞かれる。本種の体サイズの経年変化を明らかにすることは資源評価の正確化や生物特性の理解向上につながるし, イカ釣り漁業において, 体サイズの大小は漁獲量に直結する事項でもある。このような観点から, 本研究では, 石川県水産総合センターの調査船白山丸によるイカ釣り調査結果に基づいて, 日本海沖合におけるスルメイカの体サイズの長期変化を明らかにした。

## 材料と方法

**試験操業** 1978年から1995年には第4代白山丸, 1996年から2019年には第5代白山丸でイカ釣り試験操業が行われており, それらのうち5月から10月に日本海で行われた1677回の操業を解析対象とした。第4代白山丸(総トン数189.52トン)については, 建造時に自動釣り機14台と5kW白熱集魚灯42灯(合計消費電力210kW)が装備されていたが, 1988年から1989年には既設釣り機をコンピュータ制御式釣り機に換装し,

1992年には船首甲板上の白熱集魚灯16灯を5kWハロゲン集魚灯16灯に換装した。第5代白山丸(総トン数167トン)については、建造以降、コンピュータ制御式釣機14台と3kWメタルハライド集魚灯78灯(合計消費電力234kW)が装備されている。本研究では、漁具による漁獲差はないものとして結果を整理した。

白山丸の試験操業の主目的は優良漁場を探索し、漁業者の操業を支援することにある。このため、航海前に漁業者の意見を聴取し、水温図等を参照したうえで調査海域を設定した。出港後、日中に魚群探知機を用いて漁場探索を行い、操業位置を決定した。操業前にシーアンカーを投入し、日没後から日出前の夜間に集魚灯を点灯し、釣機を用いてスルメイカを漁獲した。釣具ラインにはナイロンテグスを用いて約1m間隔で擬餌針20-24本を連結し、下端に約1kgの錘を付け、錘の垂下深度を60-75m程度(海況や漁獲に合わせて適宜調整)に設定した。各操業の総漁獲尾数と漁獲努力量(釣機の稼働台数と稼働時間の積)から、努力量当たりの漁獲尾数(CPUE)を算出した。漁獲個体から所定尾数(100尾または200尾、漁獲尾数が所定尾数に満たない場合は全数)を抽出し、その外套長をパンチング用紙または巻尺を用いて測定し、1cm階級毎の外套長組成を求めた。一部の操業では、漁獲個体50尾を凍結保存して持ち帰り、生物測定を行った。解凍後、外套長と体重を測定し、外套膜を切開して雌雄と成熟状態を判定し、雌口球外唇部の交接痕の有無を確認した。成熟状態については、雄では精莖囊内に精莖が無いものを未熟、精莖が有るものを成熟、雌では輸卵管に成熟卵が排卵されていないものを未熟、成熟卵が排卵されたものを成熟と判定した。

**資源量指標** 各操業のCPUE(ノミナルCPUE)は当該年の資源量だけでなく、月齢、季節、海域等の影響も受けている。CPUEを資源量の指標とするにはノミナルCPUEから資源量以外の要因の影響を除去し、資源量の年変動に相当する部分を標準化CPUEとして抽出する必要がある。本研究では、一般化線形モデルによる統計解析により、標準化CPUEを求めた。イカ釣漁業では、季節的には8、9月頃に好漁することが多く、<sup>13)</sup>月齢との関係では満月頃に不漁になりやすい。<sup>14,15)</sup>また、日本海中央部と北海道西沖が漁場になりやすいことから、<sup>13)</sup>白山丸の調査では主に日本海中央部から北海道西沖で操業を行っており、1980年代前半には現ロシアの排他的経済水域(EEZ)でも操業を行っていた。そこで、操業年(1978-2019年)、操業月(5-10月)、月齢(0-29日)、海域(北緯41度線を境とした日本のEEZの南部と北部、並びに現ロシアのEEZ)をカテゴリカル説明変数とし、漁獲努力量をオフセット項、漁獲尾数を応答変数とする次式をフルモデルとし

た。モデルの誤差は負の二項分布に従うものと仮定し、対数をリンク関数とした。

$$\text{漁獲尾数} = \text{努力量} \times \exp(\text{切片} + \text{操業年} + \text{操業月} + \text{月齢} + \text{海域} + \text{誤差})$$

一般化線形モデルの解析には統計解析ソフトR(バージョン3.5.2)を用いた。操業年以外の説明変数について、AICを指標として総当たり法で説明変数を選択した。その結果、全ての説明変数を用いたフルモデルのAICが最も低く、Q-Qプロットで残差の正規性に問題がないことが確認されたため、同モデルを選択した。そして、同モデルの操業年の効果の推定値から標準化CPUEを求めた。

**体サイズ** 外套長組成の階級値と度数から各操業の平均外套長を求め、各操業のCPUEで重みづけして年別月別平均外套長を算出した。次に、8、9、10月それぞれの年別平均外套長について、1978年から2019年の平年値に対する偏差を求め、各月の偏差を平均することで年別平均外套長偏差を求めた。さらに、1980年以降の操業結果を5年間毎にまとめ、各操業の実施月日に対する平均外套長について、CPUEで重みづけした折線回帰分析を行うことで、各年代の外套長の季節変化(みかけの成長速度)を調べた。

**成熟率と交接率** 生物測定については、一部の操業で行い、実施しない操業も多かった。そこで、測定頻度の高い6月中旬から7月中旬の操業について、各操業の雄の測定個体数に占める成熟個体の割合と雌の測定個体数に占める交接個体の割合をCPUEで加重平均することで各年の雄の成熟率と雌の交接率を求めた。年によっては測定個体数が少なく、年々の変動幅も大きかったため、5年中央移動平均を求めて長期変化の傾向を評価した。なお、主な操業海域である日本海沖合は産卵場から離れており、成熟雌はあまり漁獲されなかったため、雌の成熟率は評価対象としなかった。

**漁船漁獲物の体サイズ** 白山丸の試験操業で漁獲したスルメイカの体サイズの変化傾向が漁業現場の状況と一致するか確認するため、漁船漁獲物の体サイズを調べた。2001年から2019年の漁期中、8隻から11隻の沖合イカ釣漁船の船頭に漁獲したスルメイカの銘柄別製品数の記録を依頼した。本研究では、これらの記録のうち、6月から10月の日本海における漁獲物(推定総尾数約2.29億尾)を集計対象とした。沖合イカ釣漁船の製品にはブロック凍結と箱詰1尾凍結があり、いずれも正味重量は8kgである。製品は入り尾数によって、17尾以下、18-20尾、21-25尾、26-30尾、31-35尾、36-40尾、41-45尾、46-50尾、51-60尾、61-70尾、71-80尾、81-90尾、91-100尾、101尾以上に銘柄分けされている。そこで、各銘柄の入り尾数を17尾、19尾、23尾、28尾、33尾、38尾、43尾、48尾、55.5尾、65.5尾、

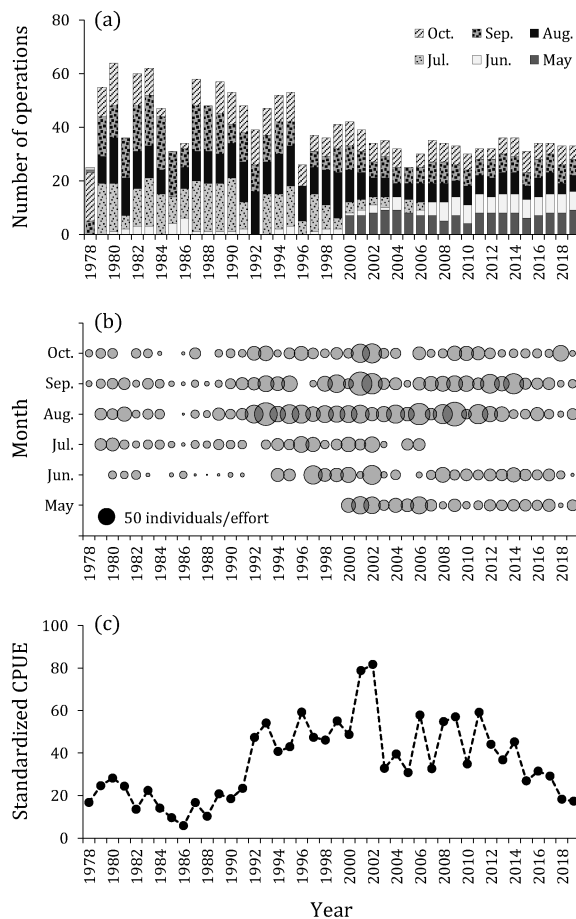
75.5尾, 85.5尾, 95.5尾, 101尾として銘柄別製品数から漁獲尾数を求め, 漁獲重量を漁獲尾数で除すことで, 1尾当たりの重量(平均体重)を算出した。一方, 白山丸で漁獲したスルメイカについては, 6月から10月の各操業の平均外套長をCPUEで重みづけして年別平均外套長を求め, 本研究の生物測定結果から導いた外套長と体重の関係式を用いて, 平均外套長から平均体重を算出した。

近年の体サイズ変化の要因を探るため, 2001年から2019年について, 体サイズと再生産海域の水温の関係を調べた。体サイズには, 漁獲尾数が多い漁船漁獲物の年別平均体重を, 再生産海域の水温には, 気象庁による日本海南西部の1-3月の冬季海面水温偏差 ([http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html), 2021年10月21日)を用い, 各年の平均体重と水温偏差を対応させて相関を分析した。

## 結 果

**操業回数・海域** 年間操業回数は第4代白山丸では23-64回, 第5代白山丸では26-42回であり, 1980年代から2000年代中頃まで減少傾向, それ以降は概ね横ばいであった (Fig. 1a)。2000年以降, 5月に操業するようになったが, 2007年から7月の操業を行わなくなった。このような操業回数と操業月の変化は年間の運航計画の見直しによるものである。8, 9, 10月については, 毎年操業を計画しているが, 天候等の影響で欠測する年もあった。1984年まで日本海中央部, 北海道西沖, 沿海州沖など広範囲で操業を行っていたが (Fig. 2), 現ロシアがEEZを設定したことから, 1985年以降, 現ロシアのEEZを除いた日本海中央部から北海道西沖で操業するようになった。1990年代の操業海域は1980年代後半と概ね同じであったが, 2000年代以降, 漁業者の要望を受けて日本海中央部での操業が多くなった。CPUEは1980年代後半には低く, 1990年代前半から2000年代後半には高く, 2010年代には低くなっており, 変動傾向は操業海域全体で概ね類似していた。

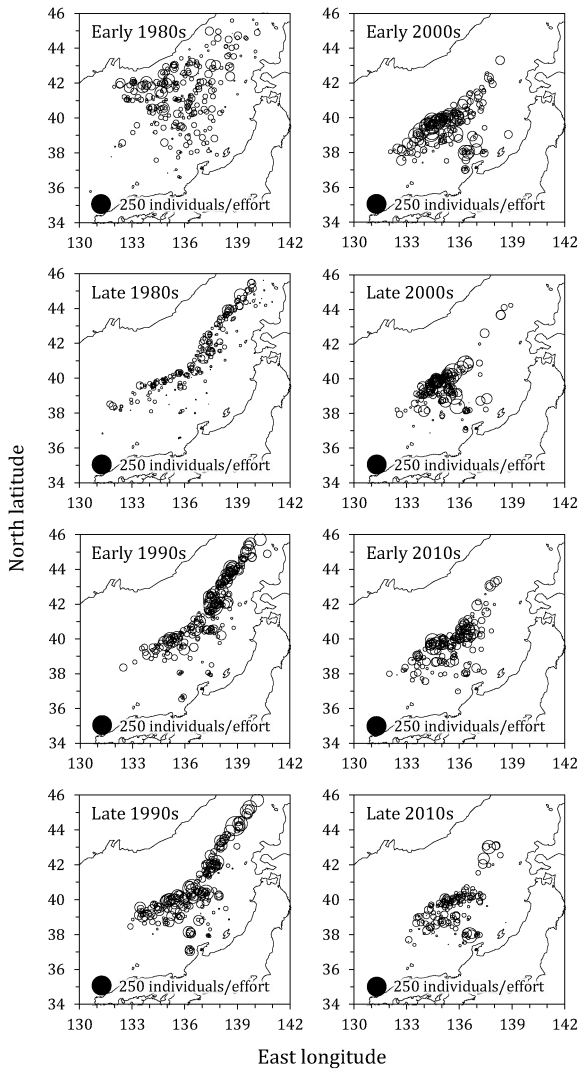
**資源量指標** CPUEの経年変動を概観するため, 年別月別平均CPUEを求めた (Fig. 1b)。欠測が最も少ない8月についてみると, 平均CPUEは1970年代末から1980年代中頃に低下し, 1980年代末頃から1990年代に上昇し, 2000年代には高水準を維持していたが, 2010年代以降は低下する傾向にあった。他の月の平均CPUEも1980年代中頃に低く, 1990年代から2000年代に高く, 変動傾向は8月に類似していたが, 短期的変動や絶対値は異なっていた。標準化CPUEは1980年代初頭から低下する傾向にあったが, 1986年を境に上昇傾向に転じ, 2000年代初頭まで上昇傾向が続いた



**Fig. 1** Annual changes in the number of operations (a), monthly mean CPUE (b), and standardized CPUE (c) in the squid jigging survey of the research vessel *Hakusan-maru*. Circle size indicates mean CPUE. The filled black circle is the legend for CPUE.

(Fig. 1c)。その後, 標準化CPUEは2000年代中頃に低下し, 2000年代末まで概ね横ばいであったが, 2010年代には大幅に低下しており, 2000年代以降, 長期的に低下する傾向にあった。なお, 操業月, 月齢, 海域の効果を推定したところ, CPUEは8月に最も高く, 次いで6月と9月に高く, 新月頃に高く, 満月頃に低く, 現ロシアのEEZで最も高く, 次いで日本のEEZの北部で高い傾向にあった (Fig. 3)。

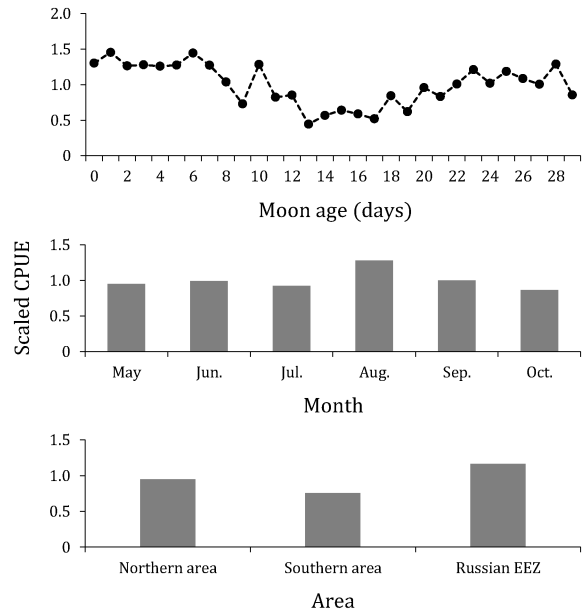
**体サイズ** 月別平均外套長の経年変化を調べたところ (Fig. 4a), 8月の平均外套長は1980年代初頭にはやや小さかったものの1990年代まで概ね横ばいであり, 2000年代以降小さくなる傾向にあった。9月の平均外套長は2000年代まで概ね横ばいで, 2010年代以降小さくなる傾向にあった。また, 10月の平均外套長は1986年まで小さく, 1987年に大きくなって以降, 2010年代初頭まで概ね横ばいであったが, それ以降は2018年を除いて小さくなる傾向がみられた。一方, 5月と6月



**Fig. 2** Spatial distribution of CPUE during every 5 years since 1980 in the squid jigging survey. Circle size indicates CPUE. The filled black circle is the legend for CPUE.

の平均外套長は年々の変化はあるものの長期的には2010年代初頭まで概ね横ばいで、2010年代中頃以降小さくなる傾向がみられた。8, 9, 10月の平均外套長偏差は1986年まで概ね負であったが、1987年に正に転じて以降、1990年代まで概ね正であった (Fig. 4b)。2000年代以降、平均外套長偏差は低下傾向となり、2013年以降は継続して負となった。また、2019年の平均外套長偏差は過去最低であり、最高であった2002年に比べて5.8 cm も小さく、2000年代以降、魚体の小型化が著しいことが分かった。

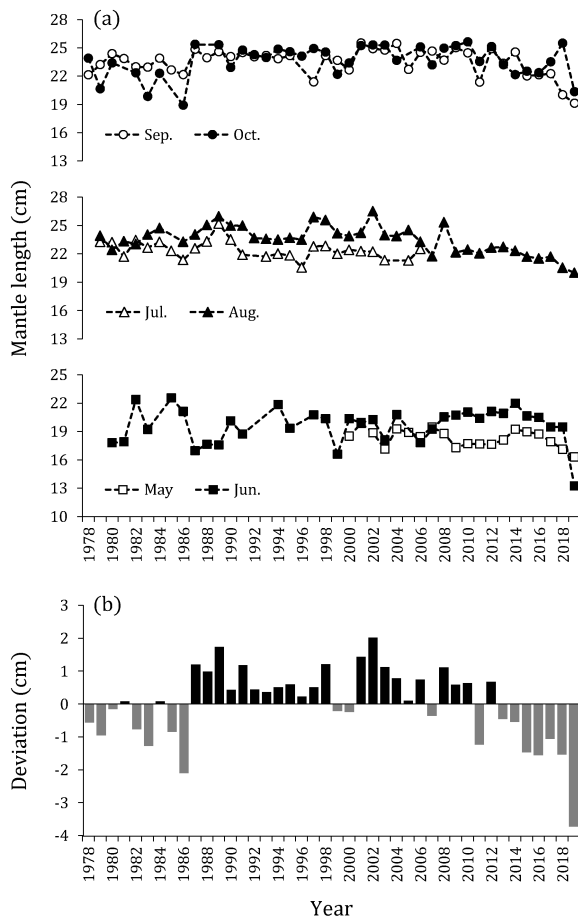
外套長の経年変化の特徴をより詳しく知るため、平均外套長の季節変化を年代毎に調べた (Fig. 5)。1980年代前半については、7月に平均外套長23 cm 以上でCPUE が比較的高い操業があった一方、9, 10月には同



**Fig. 3** Effects of moon age, month, and area variables on CPUE. CPUE is shown as the value divided by the mean of each variable. Northern and southern areas are the Japanese EEZ north and south of 41 degrees north latitude, respectively.

23 cm 未満の操業が多かったため、回帰線では明らかな成長傾向はみられなかった。1980年代後半、1990年代前半、1990年代後半には、7月まで平均外套長23 cm 以上の操業があったものの同23 cm 未満の操業が比較的多く、8月以降に同23 cm 以上の操業が多くなったことから、回帰線で表した外套長は7月まで大きくなり、8月以降は概ね横ばいとなった。2000年代の前半と後半には、7月まで平均外套長23 cm 未満の操業が大部分を占め、9月以降に同23 cm 以上の操業が多くなったことから、回帰線で示した外套長は9月上旬まで大きくなり、それ以降横ばいとなった。さらに、2010年代前半には、8月まで平均外套長23 cm 未満の操業が多く、9月以降に同23 cm 以上の操業が多くなったため、回帰線では外套長は9月下旬まで大きくなり、それ以降横ばいとなった。2010年代後半については、9月まで平均外套長23 cm 未満の操業が大部分を占め、10月に同23 cm 以上の操業が多くなったことから、回帰線は一本の直線となり、外套長は10月まで大きくなる傾向がみられた。

1980年代後半以降の回帰線を比較すると、折曲点の外套長は24-25 cm 程度で大差なかった。しかし、折曲点に至るまでの直線の傾きは、1980年代後半には0.83 mm/日、1990年代前半には0.62 mm/日、1990年代後半には0.88 mm/日、2000年代前半には0.60 mm/日、2000年代後半には0.51 mm/日、2010年代前半には

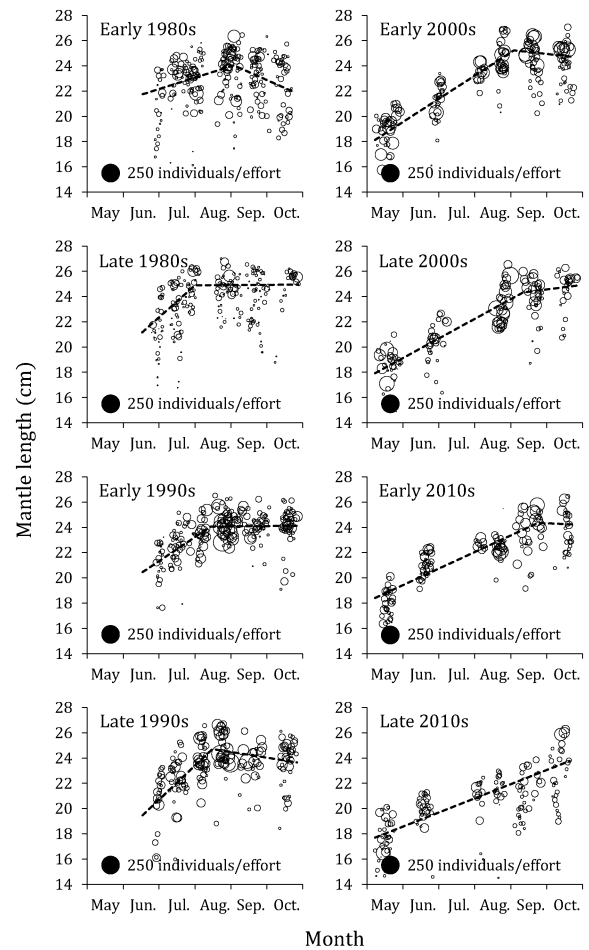


**Fig. 4** Annual changes in CPUE-weighted mean mantle length (a) and mean deviation of the mean mantle length in August, September, and October (b) in the squid jigging survey.

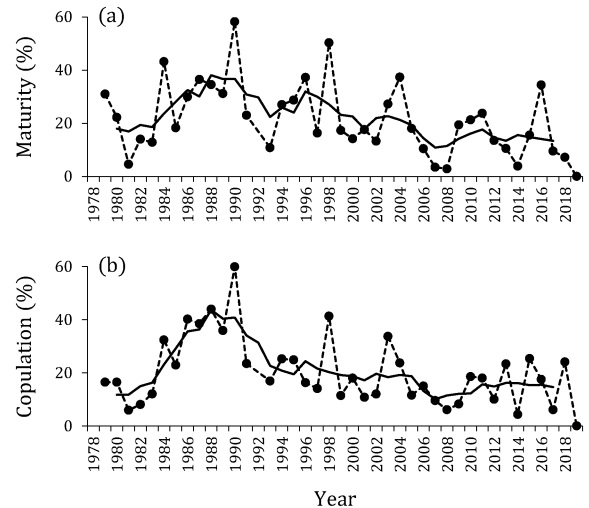
0.43 mm/日、2010年代後半には0.36 mm/日であり、2000年代前半以降、低下する傾向にあった。さらに、折曲点の月日は、1980年代後半には8月1日、1990年代前半には8月14日、1990年代後半には8月15日、2000年代前半には9月3日、2000年代後半には9月10日、2010年代前半には9月23日であり、2010年代後半には折曲点は認められず、1990年代前半以降、折曲点の時期が遅れる傾向がみられた。

**成熟率と交接率** 2007年以降、7月の操業を行っていないので、2006年以前と2007年以降を単純に比較することはできないが、雄の成熟率と雌の交接率の移動平均はいずれも1980年代に上昇し、1990年代から2000年代に低下し、2010年代には低いまま推移した (Fig. 6)。

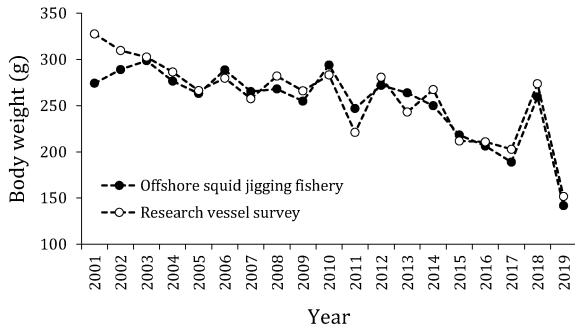
**漁船漁獲物の体サイズ** 漁船漁獲物の平均体重は2000年代にはやや低下する傾向にあり、2010年代には低下傾向が顕著となり、2018年に一旦上昇したものの2019年には著しく低下した (Fig. 7)。2019年の漁船漁



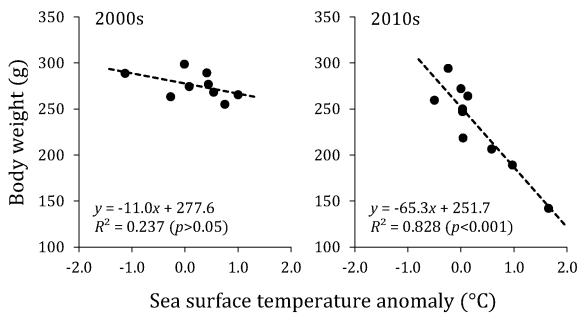
**Fig. 5** Seasonal changes in mean mantle length for each operation during every 5 years since 1980 in the squid jigging survey. Circle size indicates CPUE. The filled black circle is the legend for CPUE. The dashed line indicates the result of CPUE-weighted segmented regression analysis.



**Fig. 6** Annual changes in rates of male maturity (a) and female copulation (b) in the squid jigging survey. The solid line is the 5-year central moving average.



**Fig. 7** Comparison of mean body weight of the squid caught by offshore squid jigging fishery and the research vessel survey from June to October.



**Fig. 8** Relationship between mean body weight of the squid caught by offshore squid jigging fishery and sea surface temperature anomaly of the southwestern part of the Sea of Japan from 2001 to 2019. The dashed line is the regression line.

獲物の平均体重は142 gであり、体重が最も重かった2003年の約半分(47%)であった。漁船漁獲物と白山丸で漁獲したスルメイカの平均体重を比較したところ、両者の経年変化はほぼ一致し、白山丸の調査結果は漁業現場の実態を的確に捉えていると判断した。

近年、山陰沿岸を含む日本海南西部の冬季水温は上昇する傾向にある。<sup>16)</sup> 漁船漁獲物の平均体重と日本海南西部の冬季海面水温偏差の関係を調べたところ (Fig. 8), 2010年代には、平均体重と水温偏差の間に強い有意な負の相関がみられ、水温偏差が高いほど平均体重が小さい傾向が認められた。一方、2000年代については、平均体重と水温偏差の間に有意な相関はみられなかった。

## 考 察

スルメイカは周年に亘って産卵・発生しており、秋から冬に発生する秋季発生系群と冬季発生系群の資源量が卓越している。<sup>17)</sup> 秋季発生系群は北陸沿岸から東シナ海北部で産卵・発生し、春から夏に日本海を北上し、秋に日本海を南下する。一方、冬季発生系群は東シナ海で産卵・発生し、春から夏に主に太平洋、一部は日本海沿岸

を北上し、太平洋を北上した群れは宗谷海峡や津軽海峡を経て日本海に入り、日本海を北上した群れとともに秋から冬に日本海を南下する。従って、日本海には両系群が分布するが、資源評価では、5月から10月に沖合で漁獲したスルメイカは秋季発生系群の個体であるとされている。<sup>12)</sup> 本研究では、5月から10月の操業を対象としており、主な操業海域は日本海沖合であることから、漁獲したスルメイカは秋季発生系群の個体とみなすことができる。資源評価では、秋季発生系群の資源量は1980年代前半に減少し、1980年代末から1990年代に増加し、2000年代以降は長期的に減少傾向にあることが報告されている。<sup>11)</sup> 本研究で求めた標準化CPUE (Fig. 1c) と秋季発生系群の資源量の長期変動は概ね一致していることから、白山丸の操業結果は秋季発生系群の資源動向を適正に捉えられているものと判断できる。

白山丸の試験操業で漁獲した個体を調べたところ、2000年代以降、体サイズが小さくなる傾向がみられた (Fig. 4)。この小型化を成長の観点から評価するため、外套長の季節変化を折線回帰分析によって調べたところ (Fig. 5), 外套長は折曲点に至るまで大きくなり、折曲点に達した後は概ね横ばいとなった。スルメイカは幼体期から未成体期に急速に成長し、成熟が始まる成体期になると成長が停滞し、その2-3か月後に産卵・死亡する。<sup>11,17,18)</sup> 従って、折曲点に至るまでの直線の傾きは成長期の成長速度、折曲点以降は成体期とみなすことができる。折曲点に至るまでの直線の傾きは1980年代後半から1990年代後半には0.62-0.88 mm/日であったが、2010年代後半には0.36 mm/日に低下しており、2000年代以降、成長速度は低下する傾向にあった。従って、成長速度の低下が2000年代以降の魚体の小型化の一因と考えられる。一方、折曲点の月日は1980年代後半には8月1日であったが、2010年代前半には9月23日となり、2010年代後半には10月中旬まで折曲点は認められなかった。このことから、1980年代後半から2010年代後半にかけて成体になる時期が2か月以上遅くなったと判断できる。1990年代以降、6月中旬から7月中旬の雄の成熟率と雌の交接率は低下する傾向にあり、成体になる時期が遅れたことと整合している。成体になる時期が遅れると成長途上の個体をより長期間より多く漁獲することになるため、漁獲個体の体サイズが小さくなったと考えられる。このような成体になる時期の遅れと成長速度の低下が相まって、2000年代以降、魚体の小型化が急速に進んだものと推察される。

成体になる時期が遅れると産卵・発生も遅れることになる。1980年代後半から1990年代初頭に日本海で行われた稚仔調査では、秋季発生系群の主な発生時期は10-11月であったと報告されている。<sup>19,20)</sup> 夏季(6-9月)に日本海で漁獲された秋季発生系群とみなされる個体を

対象として、平衡石の日周輪から発生時期を推定した研究によると、主な発生時期は1990年代の調査では10-12月、2001年の調査では11-1月、2016年の調査では11-1月であったとされている。<sup>21-24)</sup>このように、1990年代以降、発生時期は成体になる時期とともに遅れていることから、秋季発生系群の生活史全体が季節的に遅くなったものと判断できる。

スルメイカの再生産海域は中長期的な水温環境の変化とともに拡大・縮小しており、これが資源量の増減をもたらす要因であると広く認識されている。<sup>3-8)</sup>即ち、1970年代後半から1980年代中頃には、秋季から冬季にかけて水温が低く、冬季の東シナ海は再生産に不適な水温環境であり、秋季の日本海南西部沿岸が主な再生産海域となっていた。このため、東シナ海を主産卵場とする冬季発生系群の資源量は極めて少なく、北陸沿岸から東シナ海北部を主産卵場とする秋季発生系群の資源量も少なかった。1980年代末から1990年代には、冬季水温が高くなったため、<sup>16)</sup>冬季の東シナ海が好適な環境となり、秋季の日本海南西部沿岸から冬季の東シナ海にかけて時間的にも空間的にも広範囲に再生産海域が形成されるようになった。その結果、冬季発生系群の資源量が急増し、さらに晩秋の水温も好適になったため、秋季の再生産海域が12月まで形成されるようになり、秋季発生系群の資源量も増加した。<sup>22)</sup>しかし、2000年代以降、冬季水温が高止まりする中で秋季水温も高くなり、<sup>11)</sup>これによって10月の山陰沿岸から対馬海峡の海域が再生産に不適な環境になり、<sup>7)</sup>秋季発生系群の資源量は減少傾向となった。また、冬季の東シナ海でも再生産海域の縮小が生じるようになり、<sup>12)</sup>2010年代には冬季発生系群の資源量も大きく減少した。以上の解釈のうち、秋季発生系群に着目すると、1980年代末以降の水温上昇によって再生産海域の形成時期は遅くなっている。従って、前述の生活史全体の季節的遅れとそれともなう魚体の小型化は水温上昇によるものと考えられる。

冬季の再生産海域は、冬季水温が低くなると東シナ海から五島列島周辺に形成され、冬季水温が高くなると東シナ海から山陰沿岸まで広く形成されると考えられている。<sup>5)</sup>従って、冬季水温が上昇すると冬季に山陰沿岸で生まれる個体が相対的に増加し、それらが日本海を回遊する結果、漁獲物の体サイズが小さくなる可能性が考えられる。近年、山陰沿岸を含む日本海南西部の1-3月の冬季海面水温は上昇する傾向にあり、<sup>16)</sup>これまで以上に冬季の日本海南西部沿岸が再生産に適した環境になっている可能性がある。このような観点から、日本海南西部の冬季海面水温と漁船漁獲物の平均体重の関係を調べたところ、2000年代には両者に相関はみられなかったが、2010年代には冬季水温が高いほど平均体重が小さくなる明瞭な相関が認められた (Fig. 8)。2000年代に

も冬季水温が比較的高い年はあったが、成体になる時期はそれほど遅くなかったため、日本海南西部沿岸で冬季に再生産する個体は少なく、漁獲物の小型化は目立たなかったものと考えられる。しかし、2010年代になると、成体になる時期の遅れが急速に進み、これに冬季水温の上昇が重なったことで、日本海南西部沿岸で冬季に再生産する個体が増加し、漁獲物の小型化が進んだのではないかと考えられる。つまり、漁期漁場では秋季発生系群とみなされるが、実際の発生時期では冬季発生系群に相当する個体が相対的に増加しているものと推察される。

日本海で8月から10月に漁獲したスルメイカの外套長を調べた研究では、平均外套長は資源量の減少とともに小さくなり、資源量の増加とともに大きくなると報告されている。<sup>9)</sup>本研究でも、8、9、10月の平均外套長は資源量が少なかった1986年以前には小さく、資源量が増加した1980年代末以降に大きくなった (Fig. 4b)。しかし、1980年代前半の平均外套長の季節変化をみると、7月には外套長23 cm以上の個体が多く漁獲されており、秋季発生系群は夏には成体になっていたものと推察される (Fig. 5)。一方、1980年代前半には、9、10月に外套長23 cm未満の個体が多く漁獲されており、これらが外套長の平均値を引き下げている。1970年代後半から1980年代中頃には、冬季発生系群の資源量は極めて少なかったことから、9、10月に日本海で冬季発生系群の個体が多く漁獲されたとは考え難い。恐らく、当時、9、10月に漁獲されていた小型個体は春季に発生したものであり、2000年代以降の魚体の小型化とは様相が異なるものと考えられる。なお、1970年代末から1980年代中頃には、雄の成熟率と雌の交接率も低いですが、この当時は大陸側の冷水域が広がる現ロシアのEEZで操業することが多く、低水温による成熟・交接の遅れ<sup>25,26)</sup>が結果に影響しているものと考えられる。

本報では、調査船白山丸によるイカ釣調査結果に基づき、1990年代以降、漁期漁場では秋季発生系群とみなされる漁獲個体が小型化しており、これには長期的な水温上昇ともなう生活史の季節的遅れが関係していることを示した。この結果は、現在広く受け入れられているスルメイカの資源変動仮説<sup>3-8)</sup>によってうまく説明できる。近年、魚体の小型化が急速に進んでおり、同仮説から導かれた地球温暖化にもなう発生時期の遅れ<sup>3,7,27)</sup>が予想を上回る速度で進行している可能性がある。今後、発生時期の遅れや魚体の小型化について、より詳細な研究が必要と考える。

## 謝 辞

本研究は、白山丸歴代船長の宮下民部氏、白田光司氏、山下邦治氏、島敏明氏、持平純一氏、小谷内悦志氏

の他、多くの乗組員および調査員の不断の努力によって達成されたものである。また、石川県水産総合センター元所長の貞方勉氏には貴重な資料をご提供いただいた。これらの皆様に感謝の意を表する。

### 文 献

- 1) イカーその生物から消費まで。(奈須敬二, 奥谷喬司, 小倉通男編). 成山堂書店, 東京. 1996.
- 2) スルメイカの世界—資源・漁業・利用—(有元貴文, 稲田博史編). 成山堂書店, 東京. 2003.
- 3) Sakurai Y, Kidokoro H, Yamashita N, Yamamoto J, Uchikawa K, Takahara H. *Todarodes pacificus*, Japanese common squid. In: Rosa R, Pierce G, O'Dor R (eds). *Advances in squid biology, ecology and fisheries. Part II*. Nova Science Publishers, New York. 2013; 249–271.
- 4) Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Goto T, Hiyama Y. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J. Mar. Sci.* 2000; **57**: 24–30.
- 5) Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Yamamoto J, Goto T, Mori K, Kinoshita T. Stock fluctuations of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, related to recent climate changes. *Fish. Sci.* 2002; **68** (suppl.1): 226–229.
- 6) Rosa AL, Yamamoto J, Sakurai Y. Effects of environmental variability on the spawning areas, catch, and recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), from the 1970s to the 2000s. *ICES J. Mar. Sci.* 2011; **68**: 1114–1121.
- 7) 桜井泰憲. スルメイカの繁殖生態と気候変化に対応する資源変動. 水産振興 2014; **559**: 1–54.
- 8) 桜井泰憲. 季節の旅人スルメイカは海洋環境変化の指標種. 「海の生物多様性を守るために」(秋道智彌, 角南篤編) 西日本出版社, 吹田. 2019; 127–142.
- 9) 木所英昭. 日本海におけるスルメイカの外套背長の経年変化. 「平成13年度イカ類資源研究会議報告」東北区水産研究所, 八戸. 2002; 2–9.
- 10) 佐藤 充, 坂口健司. 北海道東部太平洋海域へ来遊したスルメイカの体サイズと発生時期の経年変化. 水産海洋研究 2015; **79**: 12–18.
- 11) 久保田洋, 宮原寿恵, 松倉隆一. 平成30(2018)年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価. 「平成30年度我が国周辺水域の漁業資源評価」水産庁, 水産研究・教育機構, 東京. 2019; 698–745.
- 12) 加賀敏樹, 山下紀生, 岡本 俊, 濱津友紀. 平成30(2018)年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価. 「平成30年度我が国周辺水域の漁業資源評価」水産庁, 水産研究・教育機構, 東京. 2019; 652–697.
- 13) 四方崇文. 日本海沖合におけるスルメイカ資源といか釣り漁業. 「平成20年度スルメイカ資源評価協議会報告」日本海区水産研究所, 新潟. 2009; 58–64.
- 14) 四方崇文. スルメイカの漁獲に及ぼす月齢の影響の定量的評価. 「平成24年度スルメイカ資源評価協議会報告」日本海区水産研究所, 新潟. 2013; 13–14.
- 15) 舩田大作, 甲斐修也, 前川英樹, 山下由起子, 松下吉樹. 配光特性を調整した水中灯を装備する沿岸小型イカ釣り漁船の漁獲解析. 日本水産学会誌 2013; **79**: 785–792.
- 16) 日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書—. 文部科学省, 気象庁, 東京. 2020.
- 17) 新谷久男. 「水産研究叢書16 スルメイカの資源」日本水産資源保護協会, 東京. 1967.
- 18) 桜井泰憲. スルメイカの繁殖生態と再生産機構. 水産資源管理談話会報 2003; **30**: 3–17.
- 19) 日本海および九州近海におけるスルメイカ稚仔分布調査報告—20. 日本海区水産研究所, 新潟. 1992.
- 20) Goto T. Paralarval distribution of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* during fall in the southern Sea of Japan, and its implication for locating spawning grounds. *Bull. Mar. Sci.* 2002; **71**: 299–312.
- 21) 坂口健司, 高柳志朗. 1996, 1997年で道西日本海におけるスルメイカの体サイズが異なった要因. 北海道立水産試験場研究報告 2001; **59**: 25–30.
- 22) 木所英昭. 気候変化に対するスルメイカの日本海での分布回遊と資源量変動に関する研究. 水産総合研究センター研究報告 2009; **27**: 95–189.
- 23) 坂口健司, 中田 淳. 2001年の北海道北部海域におけるスルメイカの日齢と群構造. 水産海洋研究 2006; **70**: 16–22.
- 24) 中村好和, 山下紀生, 高橋晃介, 土山和彦, 宮原 一, 原 孝宏, 鶴専太郎. 2016年6–11月に日本海で漁獲されたスルメイカのふ化月組成と平衡石輪紋間隔の推移について. 「平成29年度スルメイカ資源評価協議会報告」北海道区水産研究所, 釧路. 2018; 1–3.
- 25) 高原英生, 木所英昭. 若齢期スルメイカの成長と成熟に生息水温が与える影響. 「平成27年度スルメイカ資源評価協議会報告」北海道区水産研究所, 釧路. 2016; 28–30.
- 26) Takahara H, Kidokoro H, Sakurai Y. High temperatures may halve the lifespan of the Japanese flying squid, *Todarodes pacificus*. *J. Nat. Hist.* 2017; **51**: 2607–2614.
- 27) 桜井泰憲, 岸 道郎, 中島一歩. スケトウダラ, スルメイカ. 月刊海洋 2007; **39**: 323–330.